**Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских** **землетрясений 1996-2000 гг. с магнитудой М=6-7,8 по комплексу** **сейсмологических данных**

В.А.Широков

Разработана методика краткосрочного прогноза в реальном времени для камчатских землетрясений с магнитудой М> 6, основанная на комплексном использовании большой совокупности различных сейсмологических параметров (алгоритм М6). Основой методического подхода для решения задачи краткосрочного прогноза с реальным "временем тревоги" менее месяца является выявление в сейсмическом процессе признаков самоорганизации, цикличности и пространственно-временной упорядоченности, наиболее заметно проявляющихся на заключительной стадии подготовки сильных землетрясений. В результате применения алгоритма М6 на практике в 1995-2000 гг. было сделано 8 официально зарегистрированных региональными экспертными советами прогнозов камчатских землетрясений, которые считались не опасными для г.Петропавловск-Камчатский. Макросейсмический эффект в областном центре изменялся от 2 до 6 баллов 12-балльной шкалы MSK. После сделанных прогнозов произошло 8 землетрясений, 7 из которых имели магнитуды М от 6,0 до 7,8 и одно М=5,6. В 7 случаях из 8 землетрясения произошли не позднее 15 суток после даты подачи прогноза при среднем реальном времени тревоги 6 суток. Для 5 из 8 землетрясений прогноз оправдался по времени, месту и силе событий. Для трех землетрясений было расхождение с прогнозом по одному из двух параметров (место или сила события). Для землетрясений южной Камчатки по уровню М>6,5 не был дан прогноз только для землетрясения 8.03.1999 г. с М=6,9 ("пропуск цели"). Эффективность прогноза в 36 раз выше, чем при случайном прогнозе. Обсуждаемая методика прогноза при определенных условиях может применяться в других сейсмоактивных регионах мира.

**Введение**

Камчатка является одним из наиболее простых по своему строению участков субдукции Тихоокеанского сейсмического пояса, что позволяет считать ее удобным и перспективным полигоном для постановки и решения задач геодинамики и прогноза землетрясений. На урбанизированных территориях риск от землетрясений во многом определяется их огромной разрушительной силой и внезапностью возникновения. Внезапность возникновения землетрясений связана с тем, что в мире до настоящего времени не научились эффективно прогнозировать землетрясения с необходимой для населения заблаговременностью. В контексте этой статьи термин "прогноз землетрясения" употребляется как обоснованное заключение о месте, времени возникновения, силе (или макросейсмической балльности в каких-то пунктах) ожидаемого землетрясения с указанием оценки вероятности осуществления такого события [18,31]. Везде далее под краткосрочным мы имеем ввиду прогноз, для которого реальное "время тревоги" (интервал времени от начала соответствующего прогнозу опасного периода до его окончания или момента возникновения прогнозируемого события) не превышает одного месяца [34]. Достаточно полные обзоры по проблеме прогноза землетрясений и поиску их предвестников приведены в монографиях [15,21,23,24]. Как в ретроспективном варианте, так и в реальном времени, различные по своей природе долгосрочные и среднесрочные предвестники выявлены в различных сейсмоактивных регионах мира. При всей важности этих исследований наибольшее практическое значение все-таки приобретают методы выявления краткосрочных предвестников сильных землетрясений в реальном времени.

Исследования по прогнозу землетрясений на Камчатке проводятся уже более 30 лет [3,25,27 и др.]. Утвержденная в виде регламента процедура прохождения конкретных прогнозов землетрясений в реальном времени, использующаяся на Камчатке в течение последних нескольких лет, в общих чертах такова. Прогноз представляется его авторами в региональный экспертный совет по прогнозу землетрясений в виде письменного сообщения, в котором указываются название организации, в которой работают авторы прогноза, используемые методика и виды наблюдений, текст самого прогноза, необходимая графика. В соответствии с утвержденным в 1995 г. "Положением о порядке подачи прогноза и прохождения его экспертизы" рекомендуется в прогнозе указывать время тревоги, ожидаемые место и силу землетрясения, вероятность его возникновения. Этот прогноз сразу же регистрируется в специальном журнале и передается руководителю экспертного совета для проведения экспертизы. В соответствии с принятым в 1991 г. в Страсбурге "Европейским кодексом этики прогнозирования землетрясений" сделанный прогноз должен пройти экспертизу специалистов, и только после этого доводится до сведения официальных органов власти. Они и принимают после соответствующих консультаций со специалистами решение о целесообразности принятия превентивных мер по снижению сейсмического риска, в том числе информируют население об ожидаемом сильном землетрясении и его возможных последствиях. Если сильное землетрясение ожидается в течение нескольких суток с высокой вероятностью, может рассматриваться вопрос об эвакуации населения. К сожалению, оправдываемость краткосрочных прогнозов в мировой практике является низкой из-за сложности и неоднозначности процесса подготовки землетрясения, в связи с отсутствием плотных сетей наблюдений и эффективных методов прогноза. Поэтому краткосрочные прогнозы даются очень редко.

На Камчатке описанная выше практика прохождения прогноза и оценки сейсмической опасности используется в течение многих лет. С 1985 года работает общий Совет Института вулканологии (ИВ ДВО РАН) и Камчатской опытно-методической сейсмологической партии (КОМСП ГС РАН) по прогнозу землетрясений и вулканических извержений. Имеются экспертные советы по оценке опасности природных катастроф в Институте вулканической геологии и геохимии (ИВГиГ ДВО РАН) и Институте космофизических исследований и распространения радиоволн (ИКИР ДВО РАН). В начале 90-х годов был создан Камчатский прогностический центр и вопросы сейсмической опасности по мере необходимости обсуждались на Межведомственном научно-техническом экспертном совете при администрации Камчатской области.

С целью объединения усилий и урегулирования взаимоотношений властей, науки и общества при решении проблем региональной сейсмической безопасности в октябре 1994 года был создан Камчатский центр мониторинга сейсмической и вулканической активности (КЦМСиВА). Одной из задач КЦМСиВА являлась выдача не реже одного раза в неделю для администрации Камчатской области и служб гражданской обороны заключений о сейсмической и вулканической опасности в регионе на основании экспертизы поступавших прогнозов землетрясений и комплексного анализа всей информации, предоставляемой в экспертный совет различными организациями и научно-исследовательскими группами.

В декабре 1997 г. КЦМСиВА был упразднен и его функции с 1998 г. были возложены на созданное в рамках Геофизической службы РАН Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений (КамО ФЦПЗ), в которое вошли 12 специалистов-экспертов из КОМСП, ИВ, ИВГиГ, ИКИР и других организаций. В обычном рабочем режиме заседания КамО ФЦПЗ проходят еженедельно, а в случаях повышенной сейсмической и вулканической опасности - по мере необходимости. Комплексный анализ данных проводится с использованием более 50 прогностических параметров по многим видам наблюдений. Еженедельные заключения о сейсмической опасности рассылаются по факсу 10 и более заинтересованным в них адресатам. Краткие сводки о сейсмической и вулканической опасности еженедельно передаются по областному радио и публикуются в местной печати.

Инструментальные сейсмологические наблюдения на Камчатке были начаты по инициативе академика РАН Б.Б.Голицына в 1915 году, когда в г. Петропавловский порт (ныне г.Петропавловск-Камчатский) была открыта первая сейсмическая станция, проработавшая до 1927 года [2,19]. После 20-летнего перерыва в пос. Ключи, вблизи действующих вулканов Шивелуч и Ключевской, в 1946 году началась регистрация землетрясений на сейсмостанции "Ключи". В 1951, 1958, 1959 гг. на Камчатке были открыты еще 3 сейсмостанции. К началу 1962 года их было уже 8, что позволяло без пропусков определять координаты гипоцентров и энергию камчатских землетрясений энергетического класса КS>10 по шкале С.А. Федотова для поперечных сейсмических волн S [26]. Кs=lgE, где энергия E выражена в Джоулях. Везде далее вместо KS используется обозначение К. Связь между классом К и магнитудой М определяется соотношением К=4,6 + 1,5М [26]. Сеть камчатских станций непрерывно совершенствовалась, и к настоящему времени включает 8 стационарных обслуживаемых сейсмостанций и 3 куста радиотелеметрических сейсмических станций [6] с цифровой регистрацией (26 пунктов). Главным итогом непрерывных детальных сейсмологических наблюдений являются записи сейсмических событий и каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов 1962-2000 гг., включающий в себя более 70 тысяч землетрясений, для которых рассчитаны координаты гипоцентров и другие основные параметры [6]. Это один из наиболее представительных и точных региональных каталогов среди всех сейсмоактивных регионов мира.

Сеть цифровых радиотелеметрических станций позволяет КОМСП ГС РАН осуществлять оперативное слежение за сейсмическим режимом Камчатки. Для землетрясений с магнитудой М>4 для Авачинского залива и с М>5 для всей Камчатки в течение 20 минут производится оценка положения гипоцентров и магнитуды. Не позднее, чем через сутки для заинтересованных пользователей выдается оперативный каталог всех обработанных тектонических и вулканических землетрясений с К>4,5 (М>0 ) [6]. Без пропусков регистрируются землетрясения с К> 9 для всего Камчатского региона. Окончательный и оперативный каталоги камчатских землетрясений являются основой всех работ, связанных с поиском предвестников сильных землетрясений и их прогнозом. Возможность оперативного получения информации о камчатских землетрясениях явилась той основой, которая позволила нам перейти к решению задачи прогноза сильных камчатских землетрясений по сейсмологическим данным не в ретроспективном варианте, а в реальном времени.

Автор в течение последних 20 лет занимался исследованиями по краткосрочному прогнозу землетрясений на основе изучения пространственно-временных характеристик сейсмичности с использованием сейсмостатистических данных как о слабых, так и о сильных землетрясениях. В результате разработана методика многопараметрического краткосрочного (с реальным временем тревоги менее 2-5 недель) прогноза камчатских землетрясений (алгоритм М6), позволяющая в благоприятных случаях осуществлять в реальном времени прогноз времени, места и силы камчатских землетрясений с магнитудой М6 и более, что ориентировочно соответствует классам К>13,5. Основное внимание уделяется изучению сейсмичности и сейсмической опасности в районе южной Камчатки, в том числе в районе Авачинского залива, где расположены города Петропавловск-Камчатский и Елизово с населением около 300 тысяч человек. Для краткосрочного прогноза в реальном времени использовался оперативный каталог КОМСП ГС РАН за 1995-2000 гг., оперативные данные о сильных землетрясениях мира по результатам определений Опытно-методической экспедиции (ОМЭ) ОИФЗ РАН и мировой каталог NEIC Геологической службы США



В данной статье кратко описаны используемые методические подходы для решения задач краткосрочного прогноза землетрясений (раздел 1), изложены и обобщены результаты сделанных прогнозов времени, места и силы камчатских землетрясений в реальном времени в период 1995-2000 гг. с использованием алгоритма М6 (раздел 2). С 1995 г. автор как сотрудник ИВГиГ ДВО РАН практически еженедельно, реже один раз в 2 недели, если находился в г.Петропавловск-Камчатский, представлял в региональные экспертные советы по прогнозу землетрясений заключения о сейсмической опасности в Камчатской области по комплексу сейсмологических данных (алгоритм М6). В этих заключениях, ориентированных, главным образом, на оценку сейсмической опасности в г.Петропавловск-Камчатский, указывалось, что в ближайшие 1-2 недели "опасные" землетрясения с М>6,5 приблизительно на расстоянии 150 км от областного центра не ожидаются. Таких официально зарегистрированных заключений, основанных на алгоритме М6, в 1995-2000 гг. было выдано более двухсот. В эти годы землетрясения с силой сотрясений 7 и более баллов в г.Петропавловск-Камчатский по 12-балльной шкале MSK не ожидались. Последнее землетрясение с макросейсмическим эффектом в областном центре 7 баллов произошло в 1971 г. [2,3]. Что касается конкретных прогнозов землетрясений с М> 6, то их за указанный период было сделано 8. После выдачи этих прогнозов на Камчатке произошло 8 землетрясений с магнитудой М=5,6-7,8. Для 7 землетрясений с М=5,6-7,0 от начала времени тревоги (даты подачи прогноза) до времени возникновения каждого из событий прошло не более 15 суток при среднем значении реального времени тревоги 6 суток. Для района южной Камчатки был только один "пропуск цели" по магнитудному уровню М>6,5 (землетрясение 8 марта 1999 г. с М=6,9). Детальный анализ этих прогнозов представлен в разделе 2.

1.О методическом подходе к решению задачи краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений в реальном времени.

Изложим в кратком виде используемый нами подход при решении задачи краткосрочного прогноза сильных камчатских землетрясений, основой которого являются, во-первых, представления о существовании в сейсмическом процессе не только случайной, но и более важной детерминированной составляющей и, во-вторых, имеющиеся данные о статистически значимой связи между космическими факторами и процессами подготовки сильных камчатских землетрясений [31-33 и др.]. Методика краткосрочного прогноза основана на выявлении в сейсмическом процессе признаков перехода от случайного, хаотического распределения сейсмических событий к их пространственной и временной самоорганизации, упорядоченности [17]. Признаки самоорганизации, упорядоченности могут проявляться в различной форме, но чаще всего связаны с появлением ярко выраженных детерминированных (повторяющихся для разных сильных землетрясений) характерных аномалий сейсмического режима, с эффектами цикличности и периодичности, с синхронизацией сейсмичности в непересекающихся сейсмоактивных объемах, с возникновением областей сейсмического затишья или активизации в виде роев землетрясений и т. д. С некоторого момента времени в благоприятных случаях на фоне выявленной упорядоченности и самоорганизации можно выявить признаки перехода сейсмического процесса к хаосу и разупорядоченности, что позволяет предположить, что в ближайшее время с более высокой, чем ранее, вероятностью ожидается сильное землетрясение. Можно считать, что такой подход в общих чертах напоминает специфическое решение задачи распознавания образов на основе метода принятия решения по комплексу разнородных по своей природе данных [20].

Таким образом, способ решения задачи прогноза основывается на выявлении последовательно во времени большой совокупности прогностических признаков в сейсмическом процессе: от признаков преимущественно случайного возникновения слабых землетрясений, когда возникновение сильного события маловероятно, до порядка, частично переходящего в хаос на заключительной краткосрочной стадии подготовки землетрясения. Другой существенной особенностью методики является использование для решения задач прогноза различного рода зависимостей сейсмического процесса от космических факторов. Хотелось бы обратить внимание на то, что мы не отказываемся от использования прогностических параметров, ранее применявшихся другими исследователями (например, выявление зон сейсмического затишья и т.д.). Новизна метода состоит только в самом подходе и комплексной интерпретации большой совокупности разнородных предвестниковых параметров, как правило, ранее не использовавшихся другими исследователями, в использовании методики прогноза времени, места и силы землетрясений не по ретроспективным данным, а в реальном времени.

Обсуждаемая далее методика краткосрочного прогноза ориентирована на события с магнитудой М6 и более. В связи с тем, что разработки по алгоритму М6 предполагалось использовать в реальном времени, то до проверки эффективности методики, до получения в течение нескольких лет конкретных результатов прогноза и их публикации представлялось преждевременным давать описание и обоснование основных элементов методики, учитывая также ее комплексный характер, большой набор прогностических параметров и отсутствие строгой формализации. Поэтому в кратких формулировках дававшихся в 1995-2000 гг. прогнозов, как правило, отсутствовало описание методических приемов, служивших основой прогнозов и оценок сейсмической опасности в регионе. Кроме того, методика со временем совершенствовалась, дополнялась новыми элементами, которых не было по состоянию на 1995 г., когда она начала использоваться в реальном времени. Некоторые методические решения были проработаны к концу 1999 г., и только с этого времени появилась возможность ставить вопрос о строгой формализации используемого нами подхода. Некоторые методические приемы, требующие подробного описания, в этой статье не обсуждаются в связи с ограниченным объемом публикации.



Чаще всего сейсмический процесс в исследуемом сейсмоактивном объеме на длительных временных интервалах является преимущественно случайным, хаотичным, что проявляется в широком диапазоне энергии сейсмических событий. Это соответствует, как правило, такой геодинамической ситуации, при которой поступающая и расходуемая энергия, в том числе в виде относительно слабых землетрясений, сбалансирована (если не принимать во внимание накопленную потенциальную энергию в областях очагов будущих сильных землетрясений). В эти периоды по многим параметрам сейсмический процесс приближается к пуассоновскому. Многие исследователи вообще полагают, что сейсмический процесс является типично пуассоновским, случайным во времени и в пространстве. Для того, чтобы накопленная в областях очагов землетрясений потенциальная энергия реализовалась в виде сильных событий, необходимы определенные условия. Упорядоченность и самоорганизация сейсмотектонического процесса и являются, на наш взгляд, необходимыми, хотя и не всегда достаточными условиями для возникновения сильных землетрясений. В данной статье под сильными применительно к Камчатскому региону имеются ввиду землетрясения с магнитудой около 6 и более. Если в течение некоторого времени поступающая в среду энергия заметно превосходит ту, которая сбрасывается при землетрясениях, для перехода системы в равновесное состояние необходимо, чтобы часть энергии высвобождалась в виде более сильных землетрясений или криповых процессов. Нам представляется, что системе проще всего осуществить переход к равновесному состоянию при минимальных затратах энергии, что возможно, как правило, при самоорганизации и упорядоченности сейсмического процесса. Появление признаков самоорганизации указывает на то, что в системе происходит подготовка сильного землетрясения, вероятность возникновения которого заметно повышается по сравнению с предыдущим состоянием системы. В определенном смысле хорошей аналогией тому, что сказано выше, является ситуация, описанная в известной басне И.А. Крылова, когда повозка может начать движение лишь в том случае, когда лебедь, рак и щука начнут тянуть ее не в разных случайно ориентированных направлениях, а в одном и том же, т.е. лишь в случае закономерной упорядоченности, определенным образом направленной самоорганизации процесса. Понятно, что в этом случае повозка может начать движение при относительно небольших затратах энергии лебедя, рака и щуки.

Известно, что в геодинамической системе могут возникнуть либо автоколебательные процессы (свободные колебания), либо ритмические колебательные явления, синхронизированные с внешними по отношению к изучаемой среде воздействиями (вынужденные колебания). Автоколебательные системы в принципе нелинейны. Если нелинейность является слабой, в автоколебательной системе происходит преобразование энергии постоянного неколеблющегося источника в энергию автоколебаний с характерным для данной системы собственным периодом. Не менее важное значение при изучении геодинамических систем представляют вынужденные колебания, возникающие в случаях, когда система подвержена действию переменной силы. Наибольший интерес представляют случаи, когда переменные силы представлены набором периодических и квазипериодических составляющих. На существование циклических вариаций в сейсмическом и вулканическом процессе, которые связаны с космическими воздействиями, и на возможность использования явлений цикличности для прогноза землетрясений и вулканических извержений указывалось нами в работах еще в 70-ые годы [12,29,31-33]. На использовании явлений цикличности были основаны первый успешный среднесрочный прогноз камчатского землетрясения с М=7,5 в феврале 1973 г., побочного извержения Ключевского вулкана в 1974 г. [29] и последующие прогнозы. Существенным моментом было доказательство того, что при использовании совокупности эффективных прогностических параметров вероятность успешного комплексного прогноза по сравнению с отдельными независимыми способами может быть увеличена на 1-2 порядка [34]. Таким образом, можно считать, что выявление статистически значимых циклических составляющих сейсмического процесса позволяет при определенных условиях решать задачи прогноза землетрясений.

По современным представлениям литосфера и ее отдельные части могут рассматриваться как пример открытых систем, обменивающихся с окружающей средой веществом и энергией [4,10,17,22 и др.]. Эти системы являются неравновесными, неустойчивыми и нелинейными. Характерной особенностью таких систем является то, что малый сигнал на их входе может вызвать сильный отклик на выходе. Как уже отмечалось, для таких систем свойственны как черты упорядоченности, так и хаоса. Смена порядка и хаоса обуславливает нестационарность пространственно-временных структур [4,17]. Ритмические колебания в геодинамических системах происходят с периодами от минут до сотен миллионов лет. Если учесть, что кроме главных тонов в спектре могут быть хорошо выражены их гармоники, то набор ритмов может быть слишком большим и занимать широкий спектр изучаемых частот.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 1 |

Для решения задач прогноза землетрясений наиболее значимы ритмы до десятков лет [4,13,32 и др.]. Ритмичность многих процессов на Земле связывается как с иерархической структурированностью геологической среды [22], так и с процессами, происходящими в космосе. Обзор работ, касающихся роли космических факторов в геотектонике, приведен в статье П.Н. Кропоткина [11], который пришел к выводу, что современные сейсмотектонические процессы являются результатом действия двух главных факторов - космических внешних воздействий и внутренней эволюции Земли как одной из планет солнечной системы. В 70-80-ые годы нами была сделана попытка оценить роль космических факторов с точки зрения изучения их влияния на сейсмотектонический и вулканический процессы и возможности использования этих связей для решения задач прогноза землетрясений и вулканических извержений [12,29-35]. Проведенный анализ показал, что при изучении влияния внешних воздействий на сейсмотектонические процессы в интервале периодов до десятков лет к числу главных факторов космического происхождения относятся электромагнитное излучение Солнца и гравитационные поля Солнца и Луны. Была составлена геодинамическая схема такого рода взаимосвязей, которая приведена в работе [32] и представлена на рис.1. Рассматриваются связи между гравитационными полями Земли, Солнца и Луны, электрическим и магнитным полем геосфер, неравномерностью вращения Земли, изменением ее фигуры, возникающими в Земле напряжениями и т.д. Эта схема в определенной степени синтезирует представления многочисленных исследователей о механизме связи между указанными выше космическими факторами и медленными движениями земной коры и мантии, землетрясениями и извержениями вулканов. Наиболее характерные связи на схеме обозначены стрелками. В действительности число стрелок на схеме должно быть увеличено по меньшей мере втрое, но обращается внимание на главные, наиболее существенные, на наш взгляд, связи. Как видно из рис.1, поле упругих напряжений Земли является функцией многих переменных, каждая из которых сложным образом изменяется во времени. В общем виде задача изучения влияния космических факторов на сейсмотектонические процессы едва ли может быть решена, однако, на практике зачастую достаточно ограничиться изучением отклика среды на частоты, которые являются главными составляющими космических воздействий. Спектры космических факторов чаще всего представлены набором периодических и квазипериодических составляющих и их гармоник, что существенно упрощает задачу изучения отклика геологической среды на внешние воздействия [4,12,13,30-34]. На существование периодических и циклических вариаций в сейсмическом процессе обращалось внимание во многих работах. Наиболее часто обсуждаются лунные и солнечные ритмы с периодами 18,6 года, 8,85 года, около 22 и 11 лет, 5-7 лет, 1-2 года, а также более короткие. Выделяются вариации, связанные с солнечносуточными, лунносолнечными полусуточными и месячными земными приливами. Сразу заметим, что для прогноза камчатских землетрясений нами анализируются функции отклика камчатских землетрясений на некоторые из указанных выше космических ритмов.

При использовании алгоритма М6 осуществляется слежение за различными параметрами сейсмического режима в интересующих нас сейсмоактивных объемах земной коры и верхней мантии. Для компьютерного анализа оперативных сейсмологических данных использовались, в основном, специализированные прикладные пакеты программ, разработанные Дрозниным Д.В. ( КОМСП ГС РАН), Белкиной Л.А. (ИВГиГ ДВО РАН), Филипповым Ю.А. (ИВ ДВО РАН). Не реже одного-двух раз в неделю осуществляется анализ получаемых сейсмологических данных и на его основе реализуются, в частности, следующие процедуры:

 выявление зон сейсмического затишья в широком диапазоне энергетических классов и глубин очагов землетрясений. В большинстве случаев в области очага будущего землетрясения за несколько недель, месяцев или даже лет существенно снижается уровень сейсмичности. Один из возможных способов выявления зон затиший приведен в [15,37]. Непосредственно перед землетрясением на краях этой области или внутри ее достаточно часто начинается процесс форшоковой активизации. Этот подход, использующийся многими исследователями, дает возможность определить с некоторой вероятностью ожидаемое место, время возникновения землетрясения и в благоприятных случаях позволяет оценить его силу;

 выявление аномалий в распределении землетрясений по глубине и по энергетическим классам;

 выявление различных по продолжительности аномалий внутрисуточного распределения землетрясений в исследуемом сейсмоактивном объеме. Чаще всего в процессе подготовки сильного землетрясения неравномерность внутрисуточного распределения более слабых землетрясений проявляется в том, что более 80% событий происходит в "опасном" интервале суток от 7 до 19 час Гринвичского времени, т. е. землетрясения почти на порядок чаще происходят в вечерние и ночные часы по камчатскому времени (иногда этот интервал несколько шире или смещается на 1-2 часа в ту или другую сторону [30,35]). Это характерно как для тектонических, так и вулканических землетрясений. Показано, что явление суточной цикличности является характерной особенностью распределения сильных землетрясений в различных регионах мира [30];

 выявление аномалий в сезонном распределении землетрясений (как для слабых, так и для сильных событий), что позволяет оценивать максимальную магнитуду ожидаемых землетрясений и время их возникновения;

 анализ роевых последовательностей землетрясений, выявление аномалий в пространственно-временном распределении роевых событий. Рои землетрясений, в том числе форшоковые, часто возникают в области очагов и вблизи мест возникновения будущих землетрясений, что позволяет определять место и время ожидаемых событий;

 выявление периодических, циклических составляющих в сейсмическом процессе с периодами до десятков лет, в том числе изучение влияния на сейсмичность лунно-солнечного месячного (29,53 суток) и долгопериодических лунных с периодами 8,85 и 18,613 года. Наиболее сильные землетрясения в подавляющем большинстве случаев приурочены к жестко фиксированным фазам долгопериодических приливов. Как указывалось выше, таким способом нами были выделены "опасные" фазы для землетрясений разной силы, оценивались максимальная магнитуда ожидаемых событий, место их возникновения [29-33]. Короткопериодическая цикличность наиболее ярко проявляется на заключительной стадии подготовки сильных землетрясений;

 использование для краткосрочного прогноза камчатских землетрясений их статистически значимой связи с сильными землетрясениями мира с М> 7,5. Приведем конкретные примеры этой связи. Для рассматриваемого нами периода 1995-2000 гг. из 8 камчатских землетрясений с М=5,7-7,8, которые произошли после сделанных прогнозов (см. табл. 1), 6 событий зарегистрированы с разницей во времени менее недели от дат возникновения 8 сильных землетрясений мира с М=7,5-7,9 (каталог NEIC), причем для 4-х камчатских землетрясений эта разница составила менее двух суток. Вероятность случайного совпадения событий составляет менее 0,001. 6 из указанных 8 камчатских землетрясений предварялись менее, чем за месяц сильными землетрясениями мира с М=7,5-7,9 (8 событий, из которых 6 с М=7,7-7.9). Таким образом, сильные землетрясения мира с М>7,5 рассматриваются в качестве реперов, после которых необходимо более полно и с большей детальностью вести поиск краткосрочных аномалий сейсмичности в Камчатском регионе;

 проведение анализа сейсмичности верхнемантийных землетрясений в соответствии с алгоритмом Мантия. Ниже приводится краткое описание этого алгоритма, позволяющего осуществлять прогноз землетрясений с М>6 для района г. Петропавловска-Камчатского.

**Краткое описание алгоритма Мантия и опробование его с целью прогноза землетрясений с М >6 в районе г.Петропавловск-Камчатский**

Сделана попытка создать способ прогноза землетрясений с М> 6 для ограниченного участка зоны субдукции Камчатки протяженностью около 200 км в той части сейсмофокальной зоны, в середине которой расположен г. Петропавловск-Камчатский. Поиск сейсмологических предвестников основывался на априорном предположении о том, что при подготовке сильного, в том числе мелкофокусного землетрясения с нормальной глубиной очага, область взаимосвязанной сейсмичности на исследуемом участке сейсмофокальной зоны Заварицкого-Беньофа является достаточно протяженной как по простиранию вдоль сейсмофокальной зоны, так и по глубине, охватывая, по крайней мере, интервал глубин до 200 км. Если это предположение верно, то можно попытаться выявить перед сильными землетрясениями выбранного участка геоструктурной дуги аномалии сейсмичности на тех глубинах, где такие мешающие факторы как роевая и афтершоковая активность практически не проявляются, т.е. на глубине Н>70 км. С этой целью поиск предвестников землетрясений с М> 6 в ретроспективном варианте для периода 1962 -1995 гг. основывался на анализе каталогов землетрясений представительного энергетического класса К=8,0 и более, происходящих на глубине 70-150 км (каталог 1). Каталог 1 является выборкой эпицентров землетрясений, отмеченных в круге радиуса R (опробование проводилось для R = 50, 60, 70, 80 км) с центром, имеющим координаты = 53,1o N, = 159,3o E. За рассматриваемый период наблюдений в исследуемой зоне 52,9o + 1,0o N, Н=0-100 км произошло 10 землетрясений с К> 13,8 (М6 и более, каталог 2): 18.11.1965, 24.11.1971, 23.01.1980 (2 землетрясения), 04.11.1980, 17.06.1986, 06.10.1987, 02.03 и 06.03.1992. За исключением землетрясения 24.11.1971 с М=7.3 остальные имеют магнитуду М=6-6,8. Землетрясения происходили на расстояниях до 180 км от г.Петропавловск-Камчатский и ощущались в областном центре на средних грунтах силой 7 баллов (1971 г.) и 2-5 баллов (остальные 9 землетрясений). Землетрясение 24.11.1971 отмечено на глубине 100 км, остальные зарегистрированы на глубинах менее 40 км. По данным каталога 1 за 1962-1995 гг. рассчитывались следующие параметры: а) длительность Z(m) временного интервала для последних m событий (рассматривались варианты для m=const или выбранного набора из нескольких значений m ; б) амплитуда А бухтообразной вариации параметра Z; в) максимальный энергетический класс Kмакс последних m событий. Для перечисленных выше прогнозных параметров по ретроспективным данным за 1962-1995 гг. оценивались их пороговые критические величины. Если все 3 параметра оказываются за границей порогового уровня, с относительно высокой вероятностью ожидается событие с М> 6 в течение ближайших дней или недель. В рамках этого подхода по ретроспективным данным не был выявлен комплекс аномалий только перед группой из двух землетрясений в марте 1992 г.



Эффективность прогноза, рассчитанная по методике А.А.Гусева [7], равна 14, т.е. вероятность удачного прогноза в 14 раз больше, чем соответствующая оценка для пуассоновского потока событий.

Об использовании циклических изменений сейсмичности с периодами 18,613 и 8,85 года для прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2 |

Рассмотрим влияние на сейсмичность лунных приливов с периодами 18,613 и 8,85 года [16], которые играют важную роль в возникновении сильных камчатских землетрясений и вулканических извержений [27,29,31-34]. Эти закономерности успешно использовались нами как для долгосрочного, так и для краткосрочного прогноза землетрясений в рамках алгоритма М6.

Существование лунного прилива с периодом 18,6 года, выявленного в реальном океане еще в прошлом веке Джорджем Дарвином [9], приводит к мысли о возможности влияния его на процессы в твердой земле, в том числе на землетрясения и извержения вулканов. В.В. Ламакин [14] одним из первых выявил 19-летнюю периодичность землетрясений на примере Байкальской зоны, а Гамильтон [36] обнаружил аналогичное явление для вулканических извержений. Нами показано, что это явление имеет глобальное распространение [31,32].

Для сильных камчатских землетрясений с М> 7 отчетливо выражена цикличность с периодами 18,613 года, третья гармоника от этого периода, равная 6,204 года, и цикличность с периодом Т=8,85 года [31-33]. Приведем в качестве примера циклические изменения сейсмичности Камчатки с Т=6,204 года для землетрясений с М>7, Н<200 км, что отчетливо видно на рис.2. На этом рисунке по методу наложения эпох представлены в виде кружков землетрясения с М>7 за период 1901-1995 гг. и как более надежные с М>7,7 (зачерненные кружки) для периода 1737-1900 гг.

Из рисунка видно, что наиболее сильные землетрясения с М>7,6 (кружки большого размера) происходят только в одной половине цикла длительностью 6,204 года. Отметим также, что землетрясения с М>7,6 в одной из трех активных фаз 19-летнего цикла не происходят, что подтверждается данными за последние 300 лет. В половине цикла, помеченной штриховкой, происходит около 90% землетрясений с М>7. События с М=7 и более в прошлом веке происходили в 13 "активных" фазах из 16. Временные интервалы, соответствующие активной фазе, могут быть рассчитаны по формуле

, (1)



где t- количество лет, которые прошли после 1 января 1900 года. В соответствии с этой формулой предыдущая активная фаза соответствовала интервалу ХI 1995- XII 1998 гг. Две очередные активные фазы соответствуют временным интервалам II 2002 -III 2004 гг. и IV 2008-V 2011 гг. Последняя фаза более опасна, так как в ней с вероятностью около 0,6 могут произойти землетрясения с М> 7,6. В промежутках между активными фазами землетрясения с М>7 происходят на порядок реже. Вероятность возникновения камчатских землетрясений с М=7-7,4 вне активных фаз составляет менее 5%, а событий с М> 7,6 практически равна нулю, так как за 300 предыдущих лет их не было. Своеобразно проявляется на Камчатке лунный прилив с периодом Т=8,85 года. В пределах этого периода так называемая "активная фаза" длится всего 2 месяца, в течение которых с вероятностью 0,75 землетрясения с М=6,0 ожидаются в широтной полосе 49,5о-52,5о N. Детально этот вопрос был рассмотрен нами с Ю.Д.Матвиенко в Бюллетене Института вулканологии N1 за 1982 г. Камчатского полигона по прогнозу землетрясений и извержений вулканов. Последняя в предыдущем веке активная фаза оказалась приуроченной к двухмесячному интервалу 11.09.-11.11.1999 года. Ожидавшееся автором с вероятностью 0,75 землетрясение с М=6-7 в указанной широтной полосе произошло в соответствии с этим прогнозом 18 сентября 1999 г. и имело магнитуду 6,0, т. е. прогноз оправдался по всем трем параметрам (см. ниже табл.1). Укажем также, что в соответствии с цикличностью 18,6 года и сделанным долгосрочным прогнозом в период VII 1996-VII 1998 гг. в широтной полосе 53,0o -6,0o N на Камчатке с вероятностью 0,6 ожидалось землетрясение с М>7,5 [31,33]. Этот прогноз, оправдавшийся по времени, месту и силе, реализовался событием 5.12.1997 г., когда произошло самое сильное на Камчатке за последние 40 лет Кроноцкое землетрясение с моментной магнитудой МW=7,8 (NEIC).

Таким образом, более 90% сильных камчатских землетрясений с М>7 происходят по четкому лунному "расписанию", что позволяет осуществлять долгосрочный прогноз этих событий на большой срок в будущем (жесткая привязка к активным фазам, вероятно, может значимо нарушаться при бифуркациях с характерным временем их возникновения через несколько сотен-тысяч лет). Одновременно можно заранее указывать временные интервалы, в которых не ожидаются землетрясения с М=7,6 и более и маловероятны события с М=7-7,4. Выявленная связь землетрясений с долгопериодическими лунными приливами используется для оценок сейсмической опасности на Камчатке, в том числе в рамках алгоритма М6 для оценок магнитуд и времени возникновения сильных землетрясений.

2. Реализация в реальном времени краткосрочных прогнозов времени, места и силы камчатских землетрясений с М=6-7,8 в период 1995-2000 гг.

Основные данные о землетрясениях, которые произошли после 8-ми сделанных нами в 1995-2000 гг. прогнозов, приведены в нижеприводимой таблице.

Таблица 1

Основные данные о землетрясениях 1996-2000 гг. с магнитудой М=5,6-7,8, которые произошли в районе Камчатки после сделанных в соответствии с алгоритмом М6 прогнозов (NN 1-4,6-9) . Для землетрясения N 5 прогноз сделан не был. Параметры, , , H - соответственно широта, долгота и глубина гипоцентров. Пояснения в тексте.



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | Год | Месяц, день | Час, мин | ,  град. с.ш. | , град. в.д. | Н, км | М | Реальное время тревоги,  сутки |
| 1 | 1996 | 01.01 | 09 : 57 | 53,84 | 159,47 | 1 | 7,0 | 3 |
| 2 | 1996 | 06.21 | 13 : 57 | 51,69 | 159,52 | 3 | 7,0 | 2 |
| 3 | 1996 | 07.16 | 03 : 48 | 55,79 | 164,73 | 13 | 7,0 | 5 |
| 4 | 1997 | 12.05 | 11 : 26 | 54,95 | 163,23 | 4 | 7,8 | 49 |
| 5 | 1999 | 03.08 | 12 : 25 | 52,19 | 159,74 | 3 | 6,9 | Пропуск |
| 6 | 1999 | 09.18 | 21 : 28 | 51,10 | 157,80 | 51 | 6,0 | 7 |
| 7 | 1999 | 11.11 | 02 : 41 | 49,62 | 157,40 | 1 | 6,0 | 15 |
| 8 | 1999 | 11.26 | 00 : 29 | 55,07 | 165.23 | 34 | 6,0 | 1 |
| 9 | 2000 | 06.03 | 03 : 54 | 52,00 | 159,10 | 59 | 5,6 | 10 |

Указанные в таблице данные об основных параметрах землетрясений (кроме магнитуд, которые более точно определяются удаленными сетями России и мира), взяты из определений КОМСП ГС РАН. Условно принимается, что когда после сделанного прогноза на Камчатке происходит сильное землетрясение с М=6 и более, тревожный период заканчивается, даже если прогноз магнитуды или места события сделаны с некоторой ошибкой. В последней графе табл.1 указано реальное время тревоги, т.е. длительность интервала, соответствующего периоду времени от даты подачи прогноза (начала тревожного времени) до времени возникновения землетрясения. Рассмотрим каждый прогноз и соответствующее ему событие отдельно.

**Карымское землетрясение 1 января 1996 г. с М=7.**

Это близповерхностное землетрясение (Н=1 км), произошедшее вблизи вулкана Карымский, было самым сильным коровым землетрясением в континентальной части Камчатки за весь период инструментальных сейсмологических наблюдений. Значение магнитуды дано по данным ОМЭ ОИФЗ РАН. Энергетический класс К=14,3 [5]. Ярко выраженная сейсмическая активизация в области очага этого землетрясения началась за несколько часов до главного события. Землетрясения с К>12 происходили почти по всей очаговой зоне будущего землетрясения. 4 землетрясения с М>4,5 произошли в течение последнего часа до главного толчка. Землетрясение ощущалось в г.Петропавловск-Камчатский (расстояние около 100-130 км) силой 4-5 баллов.

В период сентябрь-декабрь 1995 г. для сейсмического процесса на Камчатке в широком диапазоне энергии землетрясений были характерны черты упорядоченности и самоорганизации, что проявлялось, главным образом, в суточной, двухсуточной и 10-суточной цикличности камчатских землетрясений, а также в синхронизации глобальной и региональной сейсмичности. Приведем конкретные данные.

10-суточная цикличность. В период сентябрь-декабрь 1995 г. на Камчатке произошло 17 землетрясений с К=11 и более (точнее, с К>10,8). Из них 3 могут считаться одиночными событиями, а остальные образуют 4 группы с временными интервалами между последовательными землетрясениями не более 3 суток. Выбрав в качестве реперов одиночные землетрясения и наиболее сильные события в группах, получим следующую временную последовательность землетрясений: 11 сентября (К=12,7), 20 сентября (К=11,8), 30 сентября (К=13,0), 20 октября (К=10,8), 19 ноября (К=12,7), 11 декабря (К=12,6), 31 декабря (К=13,1). С точностью до суток длительность интервалов между этими последовательными событиями образует следующий ряд значений: 9, 10, 20, 30, 21 и 20 суток, т.е. землетрясения происходили с интервалами, кратными периоду Т=10 суток с отклонением от этого значения не более, чем на одни сутки. Первоначально было сделано предположение, что эта величина соответствует одной трети лунного синодического месяца Т=29,53 суток, т.е. равна 9,84 суток. Возможны и другие объяснения, о чем будет сказано позже. Существенно то, что 10-суточная цикличность связана с откликом сейсмического процесса в Камчатском регионе на внешние воздействия и указывает на упорядоченность процессов выделения сейсмической энергии во времени в виде циклически возникающих сильных землетрясений. Были предприняты попытки выявить другие черты цикличности и самоорганизации сейсмического процесса.

2-суточная и 1-суточная цикличности землетрясений. Было обращено внимание на то, что большинство камчатских землетрясений с К=10 и более в ноябре 1995 г. происходили по нечетным дням. Наиболее отчетливо этот эффект проявился в декабре, после землетрясения 3 декабря с М=7,9 (NEIC) в южной части Курильских островов. Все землетрясения энергетического класса К>10,0 регистрировались только в нечетные дни (имеются ввиду четные и нечетные юлианские даты): 5, 7, 11, 15, 17, 17, 21, 25, 25, 31 декабря. Вероятность случайного возникновения подряд 10 таких событий составляет около 0,001. Сходный результат преимущественнной приуроченности событий к нечетным дням выявлен по мировым данным для землетрясений с М более 5,5. Это, во-первых, указывает на глобальную природу обнаруженного явления и, во-вторых, на фазовую синхронизацию глобального и регионального сейсмических процессов для двухсуточного цикла. Подобного рода самоорганизация и упорядоченность выделения сейсмической энергии могла быть связана, на наш взгляд, с синхронной подготовкой сильных событий как в регионе, так и в мире. Анализ сейсмичности Камчатки на более низком энергетическом уровне показал, что в период 6-22 декабря ярко проявлялась неравномерность внутрисуточного распределения землетрясений с К>,0. За указанный период лишь одно землетрясение произошло в 11-часовом по длительности интервале суток от 8 часов до 19 часов (здесь и везде далее указывается Гринвичское время), тогда как вне этого интервала суток зарегистрировано 20 землетрясений. Обратим внимание на то, что эти 20 землетрясений произошли в "неопасное" время суток, из чего можно было сделать вывод (в тот период это казалось нам маловероятным), что ожидавшееся сильное землетрясение готовится не в сейсмофокальной зоне, как это произошло в действительности. Столь ярко выраженная суточная цикличность рассматривалась нами как краткосрочный предвестник возможного сильного землетрясения на Камчатке. Что еще принималось во внимание перед тем, как был дан прогноз сильного землетрясения с М=7-7,8?

Последняя в 20-м веке активная фаза для камчатских землетрясений с М>7 согласно формуле (1) соответствует интервалу ноябрь 1995 - декабрь 1998 г., т. е. с ноября 1995 г. почти на порядок возросла вероятность возникновения событий указанной силы [31,33,34]. В этой активной фазе с вероятностью 0,6 в период июль 1996 - июль 1998 г. согласно оправдавшемуся впоследствии долгосрочному прогнозу в северной части камчатского участка субдукции в широтной полосе 53,0o -56,0o N ожидалось землетрясение с М=7,5 и более [31,33]. Было обращено также внимание на то, что 3 декабря в южной части Курильских островов произошло сильное землетрясение с моментной магнитудой М=7,9 (NEIC). Это означало, что в ближайший месяц повысилась вероятность возникновения сильного камчатского землетрясения и необходимо было более детально анализировать региональную сейсмичность (см. раздел 1). Характерно, что как отклик на это событие спустя 2-3 суток после этого землетрясения стали в хорошо выраженной форме проявляться суточная и 2-суточная цикличности камчатских землетрясений во всем регионе. В соответствии с алгоритмом Мантия была сделана приближенная оценка места возникновения ожидаемого землетрясения. Поскольку аномальные вариации сейсмичности в верхней мантии в районе г.Петропавловск-Камчатский отсутствовали, был сделан вывод, что в ближайшие 3 недели в радиусе 120 км от областного центра землетрясения с М>6 маловероятны. На основании комплексного анализа сейсмологических данных 29 декабря 1995 г. в региональный экспертный совет нами был представлен официально зарегистрированный прогноз (обсуждавшийся в тот же день) следующего содержания: "На основании комплексного анализа сейсмологических данных в соответствии с алгоритмом М6 сделан вывод, что землетрясения с М=6,5 и более на расстоянии до 120 км от г.Петропавловск-Камчатский в ближайшие 3 недели не ожидаются На Камчатке в период до августа 1996 г. повысилась вероятность возникновения землетрясений с М=7-7,8 (p=0,3). В период март-июль 1996 г. вероятность возникновения землетрясения с М=7,6-7,8 составляет 0,2". Этот прогноз был одновременно краткосрочным и среднесрочным. В ближайшие 3 недели была повышенной вероятность землетрясений с М=7-7,8 на расстоянии более 120 км от областного центра и в дальнейшем до августа на Камчатке ожидались землетрясения с М=7-7,8.

Спустя 3 дня после подачи прогноза в районе Карымского вулкана 1 января 1996 г. вне сейсмофокальной зоны Заварицкого-Беньофа произошло вулкано-тектоническое землетрясение с М=7 на расстоянии около 100-130 км от областного центра. Точность определения координат гипоцентров землетрясений такой силы в этом районе составляет около 10-30 км, так как в радиусе 80 км от гипоцентра расположена только одна сейсмическая станция. До августа 1996 г. в соответствии со сделанным прогнозом на Камчатке произошло 3 землетрясения с М=7, причем последнее было как раз в июле. Кроме того, учитывая наш методический подход, можно считать неслучайным, в связи с отмеченной также синхронизацией глобальной и региональной сейсмичности с периодом цикла 2 суток, что в один и тот же день с Карымским землетрясением, за 2 часа до него, произошло сильное землетрясение с М= 7,9 (NEIC) в районе экватора к югу от Филиппин. Этот первый прогноз автора в реальном времени можно считать относительно удачным, поскольку он оправдался по времени, месту и магнитуде ожидаемых событий, хотя формулировка прогноза была не очень четкой.

**Землетрясение 21 июня 1996 г. с М=7**

Гипоцентр этого землетрясения, ощущавшегося в г.Петропавловск-Камчатский как 4-5-балльное, был удален к юго-востоку от него на расстояние около 150 км (см. рис.3). Магнитуда оценена по данным станции Обнинск. Сейсмическая подготовка события по многим параметрам была достаточно типичной для землетрясений такой силы. В течение 2,5 месяцев до события в той части сейсмофокальной зоны, где произошло это землетрясение, отмечалось сеймическое затишье по данным землетрясений с К=9,5 и более, Н=0-200 км. Со 2-го по 15 июня была отмечена форшоковая активизация (Кмакс=11,8) к северу от области очага будущего землетрясения. Анализ сейсмичности на глубинах 70-150 км в соответствии с алгоритмом Мантия показал, что в исследуемом цилиндрическом объеме с радиусом 60 км в период 3 апреля - 15 июня сформировалась сейсмическая аномалия в виде 7 землетрясений с Кмакс=10,4. Анализ сейсмичности в зоне сейсмического затишья и прилегающей территории показал, что в течение трех месяцев, с 17 марта по 17 июня в одной половине суток, с 6 час 45 мин до 18 час 04 мин, произошло 14 землетрясений из 15 с К>9,1 и глубиной очага 0-150 км. В этой так называемой "опасной" половине суток произошли все 6 землетрясений в период 2-15 июня, когда имела место форшоковая активизация с Кмакс=11,8. Для периода 24.04.-15.06.1996 г. все 11 землетрясений с К=7,0 и более, Н=70-150 км, зарегистрированные в северной части зоны сейсмического затишья, произошли в интервале суток от 6 до 20 часов. Была выявлена пространственно-временная упорядоченность землетрясений с энергетическим классом К>7 на глубинах до 150 км, что выразилось в возникновении пространственно-временных цепочек землетрясений (на плановой проекции), вытянутых в широтном и меридиональном направлениях. Эти направления цепочек были превалирующими по отношению к другим. Ранее это явление отмечалось по ретроспективным данным накануне других сильных камчатских землетрясений. Указанные региональные аномалии можно было также связывать с подготовкой и возникновением 10 июня землетрясения на Алеутских островах с М=7,9 (NEIC). Кроме того, 17 июня произошло землетрясение с М=7,9 (NEIC) в районе экватора, в Молуккской зоне. Имеющиеся данные позволили 20 июня представить в региональный экспертный совет прогноз следующего содержания: "Анализ данных по алгоритму М6 показал, что сформировался предвестник землетрясения с М=5-6,5, которое ожидается в широтной полосе 52,0o -54,0o N. 3 из 4-х контролируемых параметров превысили пороговый уровень. Сделан вывод, что в ближайшие 3 месяца в районе Авачинского залива повышена вероятность землетрясения с М=5-6,5". Ожидаемое с М<6,5 землетрясение как весьма слабое считалось не опасным для г.Петропавловск-Камчатский.

Землетрясение произошло в южной части Авачинского залива через 2 дня после даты подачи прогноза и имело магнитуду на 0,5 единиц больше верхнего порога ожидаемого значения М (0,7 единиц М составляет один порядок по энергии события). При точности определения энергии сильных камчатских землетрясений около половины порядка (около 0,35 единиц М) ошибка прогноза оказалась больше 0,35М, поэтому прогноз рассматривается как оправдавшийся по времени и месту события и не оправдавшийся по магнитуде.

Землетрясение 16 июля 1996 г. с М=7

|  |
| --- |
|  |
| Рис.3 |

Это сильное мелкофокусное землетрясение произошло в северной части камчатского участка субдукции в районе между Командорскими островами и полуостровом Камчатский мыс (см. табл.1 и рис.3). Перед предыдущим сильным камчатским землетрясением 21 июня 1996 г. с М=7 уровень сейсмичности на Камчатке был довольно низким. За 5 месяцев до этого землетрясения не было отмечено ни одного события энергетического класса более 13,0. После землетрясения 21 июня на Камчатке за 20 суток возникло 6 землетрясений такой силы. Эти землетрясения происходили в разных частях Камчатского региона, что указывало на региональный характер повышения уровня сейсмичности. Скорость сейсмотектонического движения возросла за короткий срок более, чем на 2 порядка. Заметно возросла сейсмичность в верхней мантии на глубинах более 100 км, особенно в период 7-10 июля. За эти 4 суток было отмечено 8 событий с К=8,5 и более (Кмакс=13,4), тогда как в предыдущие 17 суток произошло только одно. В период 4-10 июля в северной части камчатской зоны субдукции на глубинах менее 100 км произошло 15 землетрясений с К>9,0 , в том числе 5 землетрясений с К>10,0. В предыдущие 12 суток было отмечено только 2 события. Другая существенная особенность сейсмичности Камчатки заключалась в том, что в период 01.04.-10.07.1996 г. все 8 землетрясений с К=13,0 и более, зарегистрированные в сейсмофокальной зоне Заварицкого-Беньофа, оказались приурочены к узкому ("опасному") интервалу суток длительностью менее 5 часов, от 10 час 49 мин до 15 час 36 мин. Как мы уже отмечали, большинство этих сильных событий произошли после землетрясения 21 июня с М=7. Таким образом, сейсмотектонические напряжения в регионе после этого события не пошли на спад, а нарастали. Опыт прогноза двух предыдущих камчатских землетрясений позволил нам дать краткосрочный прогноз ожидаемого землетрясения с временем упреждения 3 недели. В результате анализа данных 11 июля был представлен краткосрочный прогноз следующего содержания: "До конца июля на Камчатке повышена вероятность возникновения землетрясения с М=6-7,3". В соответствии с нашими заключениями о сейсмической опасности, поданными до и после 11 июля, в районе г. Петропавловска-Камчатского, на расстояниях до 150 км от него, в том числе в Авачинском заливе, землетрясения с М>6,5 не ожидались. 11 июля сообщение от КЦМСиВА об ожидаемом и неопасном для областного центра землетрясении было передано в администрацию Камчатской области.

Ожидаемое землетрясение произошло через 5 дней после даты подачи прогноза. Поскольку событие с М>6,5 не ожидалось в районе г.Петропавловск-Камчатский (что и было в действительности), можно сделать вывод, что прогноз землетрясения оправдался по времени, месту и силе события.

**Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г. с магнитудой Мw=7,8 (NEIC)**

Сильнейшее за последние 40 лет по величине моментной магнитуды М=7,8 и размерам области афтершоков [1,8] Кроноцкое землетрясение произошло вдали от населенных пунктов восточного побережья Камчатки. Макросейсмический эффект землетрясения, сопровождавшегося многоактным вспарыванием вдоль очаговой зоны протяженностью более 200 км, был ниже, чем у других камчатских землетрясений такой силы и не привел к каким-либо разрушениям в населенных пунктах области. Главный толчок был удален на расстояние 360 км от г.Петропавловск-Камчатский, в котором событие ощущалось силой 5-6 баллов. Как уже отмечалось, сделанный нами долгосрочный прогноз этого землетрясения [31,33], в соответствии с которым с вероятностью 0,6 ожидалось событие с М=7,5 и более в широтной полосе 53,0o-56,0o N в период июль 1996-июль 1998 г., оправдался по всем трем параметрам. Значительно сложнее было сделать в реальном времени по сейсмологическим данным краткосрочный прогноз времени, места и силы этого события. Основная сложность заключалась в том, что на заключительной стадии сейсмической подготовки этого землетрясения в течение трех месяцев до него черты упорядоченности и цикличности проявлялись, как правило, в менее выраженной форме, чем при предыдущих более слабых камчатских землетрясениях 1996 г с М=7, поэтому ожидалось более слабое событие. Уровень сейсмичности в первые 11 месяцев 1997 г. был настолько низким, что за это время не произошло ни одного события с К> 13,0. В соответствии с алгоритмом Мантия в районе областного центра опасные землетрясения с М>6,5 не ожидались. Были выявлены месячная, полумесячная и суточная цикличности землетрясений. Не была выявлена в реальном времени в действительности имевшая место в очаговой зоне Кроноцкого землетрясения область сейсмического затишья в связи с отсутствием опыта ее идентификации для таких сильных событий.Менее, чем за месяц до Кроноцкого землетрясения 8 ноября в северном полушарии Земли (35o N, 87o E) произошло событие с М=7,9 (NEIC), совпавшее по времени с мощной вспышкой на Солнце и вызванной ей большой магнитной бурей с резким началом, самой мощной за последние 2 года. До и после этого землетрясения уровень сейсмичности значимо различался. В течение месяца со 2.10 по 2.11.1997 г. на глубине 0-100 км севернее 52o N произошло 21 землетрясение с К=9,8 и более, тогда как в последующие 3 недели ни одного. В октябре-ноябре был значимо выраженным суточный ход землетрясений. 17 и 31 октября в региональный экспертный совет были даны 2 по существу аналогичных по содержанию прогноза. Второй из них подтверждал первый и был следующего содержания: "Продолжает развиваться аномалия суточного хода ( > 52,0o N, l < 165o E). За последний месяц все 16 землетрясений с К> 10,0 произошли в одной ("опасной") половине суток 07-20 часов Гринвичского времени. Это указывает на изменение напряженного состояния в регионе по сравнению с прошлым периодом и на более высокую вероятность землетрясений с К 13 (что ориентировочно соответствует М=6). В Авачинском блоке (район г.Петропавловск) в ближайшую неделю землетрясения с М>6,5 не ожидаются". Сделанный прогноз, как и все предыдущие, до возникновения события не снимался. Это был прогноз с открытой датой, так как время окончания тревожного периода не было указано. Продолжительность времени тревоги предполагалось уточнить в процессе текущего анализа данных. Отметим, что в последующих еженедельных заключениях о сейсмической опасности события с М>6,5 в Авачинском заливе не ожидались и в дальнейшем, а прогноз ожидаемого события не уточнялся. Спустя 34 дня после сделанного прогноза произошло Кроноцкое землетрясение, которое по оперативным данным КОМСП соответствовало К=14,5, а по окончательным - значению К=15,5, т. е. ошибка прогноза по энергии события составила 2 порядка.



К сожалению, в день землетрясения автор находился за пределами областного центра и не имел информации о начавшемся в области очага будущего землетрясения интенсивном форшоковом рое (К макс=12,6), предварявшем 3-5 декабря Кроноцкое землетрясение. Основываясь на этих данных, сделанный прогноз можно было уточнить. Нам представляется, что важным был вывод о том, что в Авачинском заливе, вблизи областного центра, землетрясения с М>6,5 не ожидались.

**Землетрясение 8 марта 1999 г. с М=6,9.**

Основное внимание при прогнозе землетрясений уделяется району южной Камчатки, где расположен г. Петропавловск-Камчатский, для которого наиболее близко расположенные землетрясения с М>6,5 из сейсмофокальной зоны могут представлять опасность и приводить к разрушениям. В период 1995-2000 гг. для событий с М>6,5 из района южной Камчатки нами не был сделан прогноз только землетрясения 8 марта 1999 г., основной толчок которого произошел на расстоянии около 100 км от областного центра и ощущался в нем на средних грунтах силой 4 балла, т.е. был "пропуск цели". Детальный анализ сейсмичности перед этим землетрясением по ретроспективным данным позволил найти новые методические приемы для решения задач краткосрочного прогноза, которые были использованы при краткосрочном прогнозе землетрясения 3 июня 2000 г. с М=5,6 (mb =5,7, NEIC).

**Землетрясение 18 сентября 1999 г. с М=6,0.**

В 1982 г. автор рассчитал время возникновения 2-месячных "опасных" периодов, в течение которых через каждые 8,85 г. с вероятностью 0,75 в районе к югу от Авачинского залива, в широтной полосе 49,5o-52,5oN, ожидаются события с М>6,0 (см. раздел 1). В 1999 г. такой опасный период соответствовал интервалу 11 сентября - 10 ноября. В неактивной фазе цикла с периодом 6,2 г. можно было ожидать события с М=6-7, так как вероятность землетрясений с М>7 была близка к нулю, о чем было сообщено устно на региональном экспертном совете летом 1999 г. Событие такой силы к югу от Авачинского залива из-за его удаленности считалось не опасным для областного центра. Отметим, что в следующей активной фазе (14 июля - 14 сентября 2008 г.) на юге Камчатки возможны землетрясения с М>7, так как указанный интервал попадает на активную фазу приливного цикла с периодом 6,2 г., в которой возможны события с М>7,5. В августе-сентябре 1999 г. автор находился на экспедиционных работах и детальным анализом сейсмичности, связанной с подготовкой ожидаемого землетрясения, не занимался. Письменный прогноз от 1982 г. и устное сообщение летом 1999 г., подтверждавшее его, оправдались по времени, месту и силе события (см. табл.1). Отметим только, что по ретроспективным данным перед землетрясением 18 сентября 1999 г. отмечались отчетливо выраженное сейсмическое затишье без форшоковой активизации и ряд других прогностических признаков.

**Землетрясение 11 ноября 1999 г. с М=6,0.**

Анализ сейсмичности Камчатки в сентябре-октябре 1999 г. в соответствии с алгоритмом М6 показал, что в широтной полосе 49,5o-52,5o N после землетрясения 18 сентября напряженно-деформированное состояние оставалось аномальным и в указанной зоне отмечались признаки цикличности и упорядоченности сейсмического процесса. В связи с этим 26 октября в региональный экспертный совет (Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений) был представлен следующий краткосрочный прогноз: "В активной фазе лунного приливного цикла с периодом 8,85 г. (11.09-10.11.1999 г) 18 сентября 1999 г. в широтной полосе 49,5o-52,5o Nпроизошло землетрясение с М=6,0, тем не менее до 10 ноября 1999 г. вероятность события с М=6-7 в указанном районе остается повышенной. Ожидаемое землетрясение никакой опасности для г.Петропавловск-Камчатский представлять не будет". 11 ноября спустя 15 суток после даты подачи прогноза и через 2 часа 40 минут после окончания указанного опасного временного интервала в прогнозирумой широтной полосе произошло землетрясение с М=6,0, ощущавшееся в областном центре силой 2-3 балла. Отметим, что 12 и 15 ноября, т. е. на следующие сутки и спустя 4 суток после сильного камчатского землетрясения, в мире произошли 2 землетрясения соответственно с М=7,5 и 7,7, что, по нашему мнению, связано с явлениями общепланетарной и региональной синхронизации сильных событий. Сделанный краткосрочный прогноз рассматривается экспертным советом как оправдавшийся по времени, месту и силе события.

**Землетрясение 26 ноября 1999 г. с М=6,0.**

25 ноября 1999 г. автор представил в региональный экспертный совет прогноз следующего содержания: "В соответствии с алгоритмом М6 до конца 1999 г. в районе южной Камчатки (от мыса Шипунский до мыса Лопатка) с вероятностью 0,4 ожидается землетрясение с Мw(NEIC)=5,7-6,5. Ожидаемое землетрясение никакой опасности для г.Петропавловск-Камчатский не представит". Поскольку землетрясение ожидалось в районе южной Камчатки, а произошло в северной ее части, прогноз рассматривается как не оправдавшийся по месту возникновения землетрясения. Слабым утешением является то, что событие произошло спустя 1 сутки после даты подачи прогноза и оценки магнитуды и опасности для областного центра оказались верными. В течение двух суток после произошедшего землетрясения в той же зоне были зарегистрированы еще 2 близких по силе события. Следует признать, что проблема оценки места ожидаемого землетрясения в случае неуверенного выделения зоны сейсмического затишья перед прогнозируемыми землетрясениями является наиболее сложной при решении задачи краткосрочного прогноза.

**Землетрясение 3 июня 2000 г. с М=5,6.**

Землетрясение произошло в день 60-летия автора, поэтому у нас не было морального права не сделать прогноз этого события, ощущавшегося в областном центре силой 3-5 баллов. Можно отметить, что с марта 2000 г. с целью повышения эффективности краткосрочных прогнозов камчатских землетрясений автор совместно с П.П.Фирстовым стали представлять оценки о сейсмической опасности по комплексу сейсмологических и геохимических данных. П.П.Фирстовым разработана методика краткосрочного прогноза землетрясений с использованием данных о вариациях подпочвенного радона в районе Паратунской гидротермальной системы [28]. С помощью этой методики в 1998-1999 гг. в реальном времени были сделаны успешные прогнозы 4-х южно-камчатских землетрясений с К=12,5 и более со временем упреждения менее месяца при отсутствии ложных тревог. Хотя П.П. Фирстов в мае был в командировке, сотрудники возглавляемой им группы геохимического мониторинга вед. инж. В.Н. Волошин и О.П. Малышева регулярно занимались сбором и анализом информации, которая в дальнейшем использовалась для оценок сейсмической опасности по комплексу двух методов. Отметим, что перед землетрясением была отчетливо выражена 3-суточная и 6-суточная цикличность землетрясений. В качестве примера на рис.3 представлен поперечный к зоне пространственно-временной разрез, на котором хорошо выделяется область сейсмического затишья (совпавшая с областью очага ожидаемого события) для периода 1.04-16.05.2000 г., т. е. задолго до возникновения землетрясения. Предполагалось, что 18 мая началась форшоковая активизация. 24 мая в региональный экспертный совет автором был представлен краткосрочный прогноз следующего содержания:

С середины апреля в южной части Камчатки, в районе от мыса Шипунский до мыса Лопатка, развивается сейсмическая аномалия. Отмечается дефицит слабых землетрясений энергетического класса менее 10, понижен по сравнению с фоновым уровень сейсмичности в центральной части исследуемой зоны, в диапазоне глубин 0-100 км отмечается суточная и лунномесячная цикличности землетрясений.

По данным радонового мониторинга в первой половине мая по методике П.П.Фирстова выявлена аномалия средней интенсивности по данным наблюдений на Паратунском геотермальном месторождении в двух разноглубинных точках пункта Коркино.

После землетрясения энергетического класса К=12,8, зарегистрированного в южной части Камчатки 12 мая в 17 час 21 мин Гринвичского времени, сейсмическая аномалия продолжает развиваться.

**Заключение**

 В ближайшую неделю в эпицентральной зоне с радиусом 120 км от г.Петропавловск-Камчатский землетрясения с Mw(NEIC)>6,5 на глубинах до 100 км не ожидаются.

 В г. Петропавловск-Камчатский и г. Елизово землетрясения с силой сотрясений 6 и более баллов на средних грунтах по 12-балльной шкале MSK не ожидаются.

 В районе от мыса Шипунский до мыса Лопатка до 10 июня повышена вероятность (Р=0,6) возникновения землетрясений с Mw(NEIC)=5,1-6,4 (что приблизительно соответствует классам К=12,3-14,0). Отметим, что с начала года в указанной зоне произошло только одно землетрясение с К>12,3.

Этот прогноз 24 мая был также представлен и в тот же день обсуждался в экспертном совете по прогнозу землетрясений и извержений вулканов ИВ ДВО РАН и КОМСП ГС РАН. Землетрясение произошло спустя 10 суток после времени подачи прогноза, который оправдался по всем параметрам. Как уже отмечалось, при прогнозе события использовались новые методические приемы в рамках алгоритма М6, однако, из-за ограниченного объема публикации эти вопросы не обсуждаются.

В период 1995-2000 гг. в рамках алгоритма М6 другие прогнозы конкретных землетрясений, кроме обсуждавшихся выше, автор не представлял. Следует, однако, сказать, что совместно с П.П. Фирстовым 8 ноября 2000 г. в региональный экспертный совет был представлен прогноз о повышенной вероятности возникновения в локализованной области (от мыса Шипунский до юга Авачинского залива) относительно слабого землетрясения с магнитудой приблизительно 5 в течение 10-11 ноября 2000 г. Из четырех прогнозируемых параметров прогноз не оправдался по одному - по силе события, хотя произошедшее 10 ноября в районе мыса Шипунский слабое землетрясение было самым сильным на Камчатке из 80 представленных в оперативном каталоге камчатских землетрясений за период 2-10 ноября. Поскольку речь идет о новой методике, позволяющей давать оперативный прогноз относительно слабых событий с реальным временем тревоги около 2-3 суток, она в данной статье не обсуждается.

**Заключение**

Приведем краткие выводы, касающиеся результатов сделанных нами в 1995-2000 гг. прогнозов сильных камчатских землетрясений в реальном времени. Как видно из таблицы 1, землетрясения, происходившие после сделанных прогнозов, имеют магнитуды от 5,6 до 7,8. Среди этих землетрясений заметно выделяется по энергии Кроноцкое землетрясение 5.12.1997 г. с М=7,8. Остальные 7 событий были значительно слабее и имеют магнитуды от 5,6 до 7,0, среди которых 6 землетрясений с М=6,0-7,0. Рассмотрим отдельно результаты прогноза для этих близких по энергии 7 землетрясений. Реальное время тревоги для этих событий не превышало 15 суток (см. табл.1) при среднем значении 6 суток, т.е. эти прогнозы по времени оказались краткосрочными. Если принимать во внимание точность определения прогнозируемых параметров, можно считать, что 5 прогнозов из 7 оправдались по времени, месту и силе событий (71,4%). 2 прогноза не оправдались по одному из параметров. Для землетрясения 21.06.1996 г. ошибка по магнитуде составила 0,5 единиц М, а для события 26.11.1999 г. прогноз не оправдался по месту его возникновения. Суммарное реальное время тревоги для этих 7 землетрясений составило 43 дня, т.е. менее 2,4% от общего пятилетнего интервала 1996-2000 гг. Если рассматривать так называемые "опасные" землетрясения южной Камчатки с М>6,5, то за указанные 5 лет для одного землетрясения (см. табл.1) прогноз сделан не был, т.е. был "пропуск цели".

Оценим эффективность прогнозов по уровню М>6 для района южной Камчатки, где в период 1996-2000 гг. произошло 6 землетрясений с магнитудой около 6 и более (кроме событий, представленных в табл.1, учтено также землетрясение 1.06.1998 г. с М=6,4). Из этих 6 землетрясений прогноз по времени, месту и силе был сделан для 4-х (66,7%). Суммарное реальное время тревоги равно 34 суткам, что составляет менее 1,86% от общего времени. Тогда эффективность прогноза I (7), составит величину I=66,7/1,86=36. Для случайного прогноза I=1. Таким образом, оправдываемость сделанных нами прогнозов в среднем в 36 раз выше, чем при случайном прогнозировании землетрясений. Можно отметить также, что во всех случаях, когда давались прогнозы, предполагалось, что прогнозируемые события в случае их возникновения не будут представлять опасности для г.Петропавловск-Камчатский, т.е. в областном центре не ожидались землетрясения силой 7 и более баллов по 12-балльной шкале MSK. Эти оценки оказались верными. Вопрос о прогнозе землетрясений такой силы, как Кроноцкое с М=7,8, требует отдельного рассмотрения. Здесь укажем только, что в соответствии с долгосрочным прогнозом [31-33] события такой силы ранее 2008 г. на Камчатке не ожидаются. Задачами дальнейших исследований можно считать более строгую формализацию процедур прогноза и написание соответствующей специализированной программы, реализующей алгоритм М6. Выборочная проверка эффективности алгоритма М6 на примере двух курильских (1978 и 1994 гг.) и одного японского (1993 г.) землетрясений с М=7,7-8,0 показала, что предлагаемый подход может применяться для решения задач прогноза сильных землетрясений в других сеймоактивных регионах мира.

Приведем соображения о механизме подготовки и возникновения сильных землетрясений, основанные на используемом нами методическом подходе к решению задач прогноза землетрясений (см. раздел 1). Напомним, что основой этого подхода являются учет влияния на сейсмические процессы общепланетарных космических факторов и выявление упорядоченных, циклических проявлений сейсмичности. Основой предлагаемой модели возникновения сильных землетрясений являются 2 ключевых положения.

Первое. Возникновение сильного землетрясения связано с влиянием на область очага готовящегося землетрясения процессов общепланетарного масштаба. Сейсмический отклик в регионе на влияние космических факторов является частью сейсмического отклика для Земли в целом. Таким образом, в возникновении сильного землетрясения всегда присутствует общепланетарная составляющая.

Второе. Сильное землетрясение происходит вследствие резонансных явлений, происходящих за счет совпадения частот разных по своей природе циклических колебательных процессов общепланетарного и регионального масштабов в зоне подготовки сильного события. Если обозначить частоты этих процессов как f1 и f2, то резонанс возникает при близком равенстве частот или в случае, если f1 nf2 (или наоборот), где n - относительно небольшое целое число. Естественно, что сильные землетрясения происходят в тех сейсмоактивных областях, где накоплена достаточная для их возникновения потенциальная энергия.



Сделаем некоторые пояснения. Например, одним из видов резонанса является гравитационно-электромагнитный. В динамически подвижной системе Солнце-Земля-Луна гравитационные процессы имеют различные периодические составляющие, в том числе солнечносуточную. Наблюдающиеся вариации магнитосферно-ионосферных замкнутых вихревых токов, зависящие от солнечного ветра и порождаемого Солнцем межпланетного магнитного поля, наводят в Земле переменные электромагнитные поля. Собственные и вынужденные колебания ионосферно-магнитосферного происхождения вызваны в том числе гравитационными процессами и содержат солнечносуточную и ряд приливных составляющих. Таким образом, мы имеем две совпадающие частоты солнечносуточного происхождения, что является необходимым условием возможного гравитационно-электромагнитного резонанса. Например, перед Карымским землетрясением 1.01.1996 г. с М=7 в декабре 1995 г. были статистически значимо выражены суточная и 2-суточная составляющие, которые можно связать с гравитационными, а также электромагнитными колебаниями магнитосферного происхождения. Как отмечалось во втором разделе, 2-суточная составляющая была характерна в декабре 1995 г. для сейсмического режима Земли в целом. Эта цикличность, как показал детальный анализ данных за 1995-2000 гг., является типичной планетарной особенностью сейсмичности нашей планеты. Можно предположить, что выявленные перед сильными камчатскими землетрясениями 1996-2000 гг. цикличности, например, с периодами 1, 2, 3, 4, 6 суток прямо или косвенно связаны с электромагнитными колебаниями магнитосферного происхождения. С любезного разрешения А.А.Хромова (ОИФЗ РАН) были просмотрены записи теллурических токов на станции Шипунская, расположенной менее, чем в 100 км от области очага Карымского землетрясения. На записи теллурических потенциалов в декабре 1995 г. выявлены двух- и 4-суточные периоды, что служит дополнительным подтверждением связи сейсмического и магнитотеллурического полей. Предлагаемая модель может быть названа резонансной планетарно-региональной моделью подготовки и возникновения сильных землетрясений. Ранее она в литературе не обсуждалась.

Благодарности. Исследования по краткосрочному прогнозу камчатских землетрясений проводились нами более 20 лет, в течение которых возникавшие в ходе выполнения работ проблемы обсуждались с большим кругом лиц. Автор выражает благодарность за полезные дискуссии, проявленное внимание к работе и содействие в ее выполнении Алискерову А.А., Авдейко Г.П., Белкиной Л.А., Бузевичу А.В., Викулину А.В., Волошину В.Н., Воропаеву В.Ф., Гаврилову В.А., Гордееву Е.И., Горельчик В.И., Грачеву Л.А., Гусеву А.А., Дроздюку В.Н., Дрознину Д.В., Жаляевой Ю.К., Иванову Б.В., Ким К.П., Кролевцу А.Н., Кузьмину Ю.Д., Левину В.Е., Лездиньшу А.Я., Лепской Т.С., Микаеловой Е.Б., Павловой О.А., Пономареву Г.П., Попову И.П., Разиной А.А., Руленко О.П., Семенцу Н.В., Соболеву Г.А., Степанову И.И., Токареву П.И., Федотову С.А., Филиппову Ю.А., Фирстову П.П., Хаткевичу Ю.М., Шумилову Ю.С. и Якунину Н.А. Особую благодарность выражаю сотрудникам групп камеральной обработки землетрясений КОМСП ГС РАН и их компьютерного обеспечения, без оперативной качественной работы которых по составлению каталогов землетрясений не было бы возможности проверить методику прогноза камчатских землетрясений в ретроспективном варианте и в реальном времени.

**Список литературы**

Авдейко Г.П., Широков В.А., Егоров Ю.О., Палуева А.А. Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г. и взаимодействие Тихоокеанской и Евразиатской литосферных плит // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года. Петр.-Камч., 1998. С.222-239.

Викулин А.В., Семенец Н.В., Широков В.А. Землетрясение будет завтра. Петр.-Камч., 1989. 100 с.

.Викулин А.В., Семенец Н.В., Дроздюк В.Н., Широков В.А. К землетрясению без риска. Петр.-Камч., 1997. 119 с

Гамбурцев А.Г. Сейсмический мониторинг. М.: Наука, 1992. 200 с.

Гордеев Е.И., Дрознин Д.В., Касахара М. и др. Сейсмические явления, связанные с извержениями вулканов в Карымском вулканическом центре в 1996 г. // Вулканология и сейсмология. М.: Наука, 1998. N2. С.28-48.

Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Викулин А.В., Левина В.И., Синицин В.И., Ящук В.В. Система сейсмологических наблюдений на Камчатке // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года. Петр.-Камч., 1998. С.12-14.

Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С.109-119.

Гусев А.А., Левина В.И., Салтыков В.А., Гордеев Е.И. Сильное Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 года: основные данные, сейсмичность очаговой зоны, механизм очага, макросейсмический эффект // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года. Петр.-Камч., 1998. С.32-54.

Дарвин Д.Г. Приливы и родственные им явления в солнечной системе. М.: Мир, 1965. 207 с.

Кейлис-Борок В.И. Динамика литосферы и прогноз землетрясений // Природа, 1989. N2. С.10-18.

Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике// Геотектоника, 1970. N2. С.30-76.

Кузьмин Ю.Д., Широков В.А. О механизме солнечнообусловленной суточной, 27-дневной и годовой цикличности камчатских землетрясений // Данные геофизических наблюдений полярной обсерватории Тикси. Якутск, 1978. С.211-216.

Кузьмин Ю.Д., Широков В.А. О влиянии космических факторов на сейсмичность и вулканизм Камчатки. // Вопросы географии Камчатки. Петр.-Камч., N10. 1990. С.96-98.

Ламакин В.В. О периодичности байкальских землетрясений // ДАН СССР, 1966. Том 170. N2. С.210-213.

Моги К. Предсказание землетрясений (перевод с английского). М.: Мир. 1988. 382 с.

Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. Изменчивость мирового океана. Ленинград: Гидрометеоиздат. 160 с.

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1989. 241 с.

Прогностика, терминология. 1990. М.: Наука, 56 с.

Пурин А.А. Землетрясения Камчатки и их регистрация. Петр.-Камч., 1917. 23 с.

Растригин Л.А. Эренштейн Р.Х. Метод коллективного распознавания образов. М.: Энергоиздат, 1981. 78 с.

Рикитаке Т. Предсказание землетрясений (перевод с английского). М.: Мир, 1979. 388 с.

Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 100 с.

Сидорин А.Г. Предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 191 с.

Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.

Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С.121-148.

Федотов С.А. Энергетическая классификация курило-камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 190 с.

Федотов С.А., Соболев Г.А., Болдырев С.А, Широков В.А. Долгосрочный и пробный краткосрочный прогноз камчатских землетрясений. Ташкент: ФАН, 1976. С.120-134.

Фирстов П.П. Мониторинг объемной активности подпочвенного радона на Паратунской геотермальной системе в 1997-1998 гг. с целью поиска предвестников сильных землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология, 1999. N 6. С.22-32.

Широков В.А. Космос и вулканы // Ежегодник "Человек и стихия". Ленинград: Гидрометеоиздат, 1973. С.26-28.

Широков В.А. О суточной ритмичности сильнейших землетрясений в основных сейсмоактивных регионах СССР // Тезисы докладов выездной сессии МСССС и VI сессии ДВ секции МСССС. Петр.-Камч., 1986. С.129-130.

Широков В.А. О связи извержений вулканов с тектоническими землетрясениями Камчатки: Автореф. дис . канд. ф.-м. наук, М., 1980. 19 с.

Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С.103-115.

Широков В.А. Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о БТТИ 1975-1976 гг. М.: Наука, 1978. С.164-170.

Широков В.А. Некоторые вопросы методики комплексного прогноза побочных извержений вулкана Ключевского // Вулканология и сейсмология. N6. 1985. С.40-55.

Широков В.А., Кузьмин Ю.Д. О суточной цикличности вулканических землетрясений в Курило-Камчатской зоне // Вулканология и сейсмология. 1988. N5. С.92-100.

Hamilton W.L. Tidal Cycles of Volcanic Eruptions: Fortnightly to 19 Yearly Periods // J. Geoph. Res. 1973. V.78. N 17. P.456-460.

Mogi K. Two kinds of seismic gaps // Pure and Appl. Geophys. 1979. V.117. P.1172-1186.